

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-31552

(P2003-31552A)

(43) 公開日 平成15年1月31日 (2003.1.31)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テーマコード<sup>\*</sup> (参考)

H 0 1 L 21/306

H 0 1 L 33/00

C 5 F 0 0 4

21/338

H 0 1 S 5/323

6 1 0 5 F 0 4 1

29/778

H 0 1 L 21/302

P 5 F 0 7 3

29/812

29/80

H 5 F 1 0 2

33/00

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 8 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号

特願2001-219123 (P2001-219123)

(22) 出願日

平成13年7月19日 (2001.7.19)

(71) 出願人 000005049

シャープ株式会社

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

(72) 発明者 津田 有三

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ

ャープ株式会社内

(74) 代理人 100102277

弁理士 佐々木 晴康 (外2名)

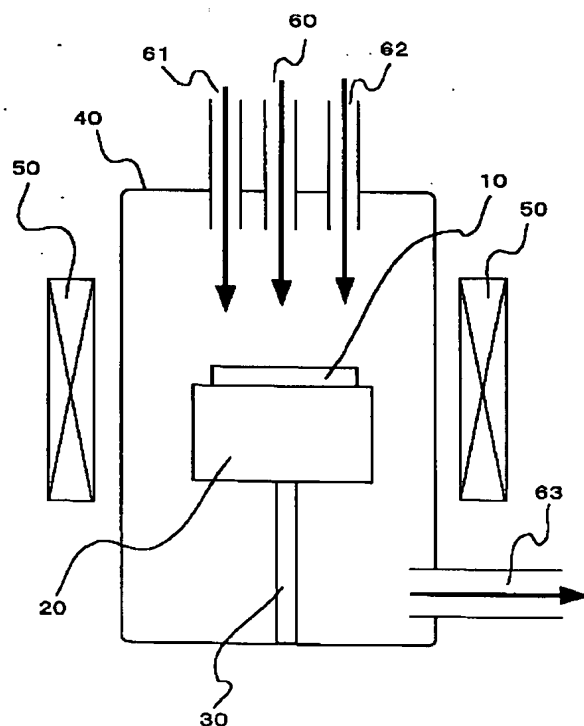
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体処理方法および窒化物半導体並びに窒化物半導体素子

(57) 【要約】

【課題】 本発明は、窒化物半導体の表面モフォロジーもしくはその研磨傷を改善することを目的とする。

【解決手段】 本発明は、窒化物半導体を加熱する工程と、前記窒化物半導体に、塩素系ガスと雰囲気ガスおよびアンモニアガスを導入する工程とを具備することによって、本発明の課題を解決することが可能である。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 窒化物半導体を加熱する工程と、前記窒化物半導体に、塩素系ガス、雰囲気ガスおよびアンモニアガスを導入する工程とを具備することを特徴とする窒化物半導体処理方法。

【請求項 2】 前記窒化物半導体の加熱温度が  $400^{\circ}\text{C}$  以上  $1200^{\circ}\text{C}$  以下であることを特徴とする請求項 1 に記載の窒化物半導体処理方法。

【請求項 3】 前記塩素系ガスが塩素ガスまたは塩化水素ガスであることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の窒化物半導体処理方法。

【請求項 4】 前記雰囲気ガスが少なくとも水素、窒素または不活性ガスのいずれか 1 つ以上を含むことを特徴とする請求項 1 から 3 の何れかに記載の窒化物半導体処理方法。

【請求項 5】 前記窒化物半導体が GaN 基板もしくは AlGaIn 基板であることを特徴とする請求項 1 から 4 の何れかの項に記載の窒化物半導体処理方法。

【請求項 6】 前記基板の面方位が実質的に {0001} 面もしくは実質的に {1-101} 面であることを特徴とする請求項 5 に記載の窒化物半導体処理方法。

【請求項 7】 前記窒化物半導体の Si 不純物濃度が  $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$  以上  $8 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  以下、あるいは前記窒化物半導体の酸素不純物濃度が  $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$  以上  $8 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  以下であることを特徴とする請求項 1 から 6 の何れかの項に記載の窒化物半導体処理方法。

【請求項 8】 前記窒化物半導体の Mg 不純物濃度が  $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$  以上  $8 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  以下、あるいは前記窒化物半導体の C 不純物濃度が  $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$  以上  $8 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  以下であることを特徴とする請求項 1 から 7 の何れかの項に記載の窒化物半導体処理方法。

【請求項 9】 前記処理を施すことによって前記窒化物半導体の極性が p 型化することを特徴とする請求項 8 に記載の窒化物半導体。

【請求項 10】 前記請求項 1 から 9 の何れかの項に記載の基板処理方法を用いて作製された窒化物半導体素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、窒化物半導体の表面モフォロジーまたはその研磨傷を改善するための窒化物半導体処理方法及びこの処理方法を用いた窒化物半導体並びに窒化物半導体素子に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 現在、市場に出回りつつある GaN 基板の表面モフォロジーは好ましくなく、ヒロック状の凹凸が散見されている。また、一見 GaN 基板の表面が鏡面であるように見えていても、実際に GaN 膜のホモエピ

タキシャル成長した後のエピタキシャル成長膜表面には、GaN 基板を研磨したときに発生したと思われる研磨傷によるスクラッチ状の傷が散見された。これらは、窒化物半導体に対して有効なウェットエッチング液がないことに起因していると思われる。特開平 9-330916 公開特許公報では、窒化物半導体を熱化学的にエッチングする方法が開示されている。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】 窒化物半導体の好ましくない表面モフォロジーや研磨傷は、その上に結晶成長した窒化物半導体デバイスの特性およびその歩留まり率の低下を齎していた。

【0004】 また、特開平 9-330916 の方法を用いても窒化物半導体の表面モフォロジーは十分なものではなかった。

【0005】 本発明は、窒化物半導体（窒化物半導体基板も含む）の表面モフォロジーや研磨傷を改善することを主の目的とする。

## 【0006】

【課題を解決するための手段】 本発明は、窒化物半導体を加熱する工程と、前記窒化物半導体に塩素系ガス、雰囲気ガスおよびアンモニアガスを導入する工程とを具備することによって、本発明の課題である窒化物半導体の表面モフォロジーまたはその研磨傷を改善することが可能である。また、窒化物半導体の表面に残留した応力歪を緩和することも可能である。

【0007】 本発明は、前記窒化物半導体の加熱温度が  $400^{\circ}\text{C}$  以上  $1200^{\circ}\text{C}$  以下の範囲内にあることによって、窒化物半導体の表面エッチングが効果的に促進され得る。本発明は、反応性イオンエッチング (RIE) 法のようにイオン効果によって表面処理を行うものではなく、熱化学的な反応を用いて表面処理を行うため、窒化物半導体表面の損傷が少なく、素子の歩留まり率も向上する。また、窒化物半導体を製造する過程で発生した結晶軸の配向性を改善することも可能である。

【0008】 本発明は、前記塩素系ガスが塩素ガスまたは塩化水素ガスであることが好適である。

【0009】 本発明は、前記雰囲気ガスが少なくとも水素を含むことが好適である。このことによって、窒化物半導体表面のエッチング速度を向上することができる。また、窒化物半導体表面が均一に平坦化されやすい。

【0010】 本発明は、前記雰囲気ガスが少なくとも窒素を含むことが好適である。このことによって、窒化物半導体表面のエッチング斑が解消され、広範囲において良好な表面モフォロジーを得ることが可能である。

【0011】 本発明は、前記雰囲気ガスが少なくとも不活性ガスを含むことが好ましい。このことによって、窒化物半導体表面のエッチング速度を調整することが可能である。

【0012】 本発明の前記窒化物半導体は窒化物半導体

基板の表面処理方法としても用いることが可能である。その窒化物半導体基板はGa<sub>2</sub>N基板もしくはAlGa<sub>2</sub>N基板であることが好適である。窒化物半導体基板として、Ga<sub>2</sub>N基板もしくはAlGa<sub>2</sub>N基板を用いることによって、本発明による効果を十分に得ることが可能である。

【0013】本発明は、前記窒化物半導体の面方位が実質的に{0001}面もしくは実質的に{1-101}面で好ましく用いられる。これらの面方位を有する窒化物半導体に表面処理を施すと平坦な表面モフォロジーが得られやすい。特に、実質的に{1-101}面を有する窒化物半導体の表面は平坦化されやすい。

【0014】本発明は、前記窒化物半導体のSi不純物濃度が $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上 $8 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以下、あるいは前記窒化物半導体の酸素不純物濃度が $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上 $8 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 以下であることが好適である。これらの不純物が窒化物半導体に含まれることによって、その表面処理の際のエッチング速度が促進され、平坦な表面モフォロジーを得ることが可能である。

【0015】本発明は、前記窒化物半導体のMg不純物濃度が $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上 $8 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 以下、あるいは前記窒化物半導体のC不純物濃度が $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上 $8 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 以下であることが好ましい。これらの不純物が窒化物半導体に含まれることによって、その表面処理の際のエッチング速度が促進され、平坦な表面モフォロジーを得ることが可能である。

【0016】本発明の窒化物半導体表面処理を施すことによって従来のp型化アニール技術を用いることなく本発明の表面処理後に窒化物半導体がp型の極性を示すことが可能である。

【0017】本発明は、上記の基板表面処理方法を用いて作製された窒化物半導体を、窒化物半導体素子に好ましく用いることができる。本発明に係わる表面処理を施すことによって、その窒化物半導体上に成長された窒化物半導体素子のヘテロ界面が急峻になり、素子特性が向上すると共に、素子の歩留まり率も向上する。

【0018】

【発明の実施の形態】＜実施の形態1＞

(塩素系ガスとアンモニアガスによる効果) 本発明は、窒化物半導体を加熱する工程と、この窒化物半導体に塩素系ガスとアンモニアガスを導入する工程とを具備することによって、本発明の課題を解決する。

【0019】前記塩素系ガスは、窒化物半導体表面をエッチングする目的で用いられる。塩素系ガスは、より具体的には塩素ガスまたは塩化水素ガスである。本発明者らの実験によると、窒化物半導体表面に塩素系ガスを吹き付けると、確かに基板表面がエッチングされることが確認されたが、同時に基板表面内にGaが凝縮し、基板表面の荒れが確認された。そこで、塩素系ガスとアンモニアガスを窒化物半導体表面に吹き付けた。すると、上

記の基板表面の荒れが解消された。塩素系ガスとアンモニアガスは互いに反応して塩化アンモニウムを生成するため、ガス供給ラインが詰まらないように窒化物半導体の表面直前でこれらのガスを混合することが肝要である。上記のGaによる基板表面の荒れを解消するための塩素系ガスとアンモニアガスの流量比は、1:500~1:1の範囲が好ましい。塩素系ガスに対するアンモニアの流量比が1:500よりも大きくなると基板表面のエッチング速度が低下し、その表面モフォロジーや研磨傷の改善効果が低下し始める。他方、塩素系ガスに対するアンモニアの流量比が1:1よりも小さくなると、Ga凝縮による基板表面の荒れが散見され始める。塩素系ガスとアンモニアガスの流量比は、1:300~1:10の範囲がより好ましい。

【0020】本発明の表面処理を応用して、窒化物半導体を種々の形に加工する目的でエッチングする場合、エッチング速度が早いことが望まれる。このような場合は、塩素系ガスに対するアンモニアの流量比は1:1~1:0.01の範囲で用い、その後上記の表面処理を施すとよい。塩素系ガスに対するアンモニアの流量比が1:0.01よりも小さくなると表面の荒れが激しくなり、上記の表面処理を行っても表面モフォロジーの改善が難しくなる。

【0021】塩素系ガスとアンモニアガスの混合ガスは、窒化物半導体表面のモフォロジーの改善や研磨傷の解消(基板表面の平坦化も含む)以外に、窒化物半導体の表面に残留した応力歪を緩和する効果も見られた。

(雰囲気ガスによる効果) 次に、塩素系ガスとアンモニアガスに雰囲気ガスを加えて、窒化物半導体の表面処理を行った。

【0022】雰囲気ガスとして水素を用いた場合、水素を加えない場合と比較して窒化物半導体表面のエッチング速度がさらに向上した。エッチング速度は雰囲気ガスとしての水素の割合が増大するにつれて速くなった。また、水素ガスによるエッチング速度の促進は、基板の加熱温度とも相関があり、基板加熱温度が高いほど速かった。さらに、雰囲気ガスに水素ガスを導入することによって窒化物半導体表面が均一に平坦化されやすくなる効果が得られる。この効果については定かではないが、窒化物半導体の表面が原子層オーダーでエッチングされているのではないと思われる。

【0023】雰囲気ガスとして窒素ガスをを用いた場合、窒素ガスを加えない場合と比較して窒化物半導体表面のエッチング斑が解消され、広範囲においてその表面モフォロジーが良好であった。これは、窒化物半導体表面がエッチングされたことによって発生したGaが基板表面で凝縮し、それが新たな核となって表面モフォロジーを悪化させることを防止し得たためと思われる。これらの効果は窒素ガス量が増えるにつれて大きくなった。

【0024】本発明者らの実験によると、水素ガス量と

窒素ガス量を 1 : 1 の割合で混合したガスを雰囲気ガスとして使用した場合、最も窒化物半導体表面のモフォロジーが良好であり、原子層オーダーで平坦であった。研磨傷も解消されていた。

【0025】雰囲気ガスとして不活性ガスを用いた場合、基板表面のエッチング速度を調整するための緩衝ガスとして利用できる。緩衝ガスとしての役割とは、水素ガスと窒素ガスの流量を変えずに（これらのガスによる効果を変えずに）、雰囲気ガスの流量を増やしたい場合の、流量合わせのためのガスである。このような緩衝ガスとしては、アルゴンガス、ヘリウムガスなどの不活性ガスが好ましく用いられる。

（基板の加熱温度について）本発明に係わる窒化物半導体の表面処理をする上で、基板温度を  $400^{\circ}\text{C}$  ~  $1200^{\circ}\text{C}$  の範囲内で加熱することによって、基板表面のエッチング速度が効率よく促進され、基板表面の平坦化がなされた。GaN 基板の場合は  $400^{\circ}\text{C}$  ~  $1100^{\circ}\text{C}$  の範囲内で加熱することが好ましく、AlGaIn 基板の場合は  $900^{\circ}\text{C}$  ~  $1200^{\circ}\text{C}$  の範囲内が好ましい。また、基板温度を加熱することによって、窒化物半導体を製造する過程で発生した結晶軸の配向性を改善することが可能である。

（窒化物半導体について）本発明の表面処理方法は窒化物半導体に適している。ここで本明細書で説明される窒化物半導体とは、少なくとも Al, Ga, In, N ( $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ 、 $x + y + z = 1$ ) を含む。前記窒化物半導体は、窒化物半導体を構成している窒素元素の約 10% 以下（ただし、六方晶系であること）が、As、P および Sb の元素群のうち何れかの元素で置換されても良い。

【0026】また、前記窒化物半導体は、その基材となった窒化物半導体基板も含む。窒化物半導体基板は、GaN 基板または AlGaIn 基板が好ましく用いられる。GaN 基板は本発明の手法においてエッチングされやすく、その表面が平坦化されやすい。他方、AlGaIn 基板は、基板表面のエッチング過程で発生する Ga の凝縮が少ないために好ましい。

（窒化物半導体の面方位について）本発明に係わる表面処理方法は、窒化物半導体の面方位のうち、特に {0001} 面もしくは {1-101} 面が好ましく用いられる。これらの面方位は  $\pm 1$  度の範囲内でオフしていても実質的に効果は同じであった。

【0027】実質的に {1-101} 面を有する窒化物半導体の表面は、その他の面方位と比較して本発明による表面処理によって原子層オーダーで平坦化されやすい。

【0028】窒化物半導体の表面が窒素で終端した {0001} 面や {1-101} 面を用いた場合、その表面がガリウムで終端した基板を用いた場合と比較して、その表面が原子層オーダーで平坦化されやすいために好ま

しい。他方、窒化物半導体の表面がガリウムで終端した {0001} 面や {1-101} 面を用いた場合、その表面が窒素で終端した基板を用いた場合と比較して、表面処理後の表面に不純物が付着しにくいために好ましい。

（窒化物半導体に添加される不純物とその濃度について）Si 不純物濃度が  $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$  以上  $8 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  以下の範囲内で含まれた窒化物半導体を用いることによって、その表面のエッチング速度が促進され、平坦な表面モフォロジーを得ることが可能である。

【0029】酸素不純物濃度が  $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$  以上  $8 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  以下の範囲内で含まれた窒化物半導体を用いることによって、その表面のエッチング速度が促進され、平坦な表面モフォロジーを得ることが可能である。

【0030】Mg 不純物濃度が  $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$  以上  $8 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  以下の範囲内で含まれた窒化物半導体を用いることによって、その表面のエッチング速度が促進され、平坦な表面モフォロジーを得ることが可能である。また、前記 Mg 不純物を含む窒化物半導体が発明に係わる表面処理を施すと、従来の p 型化アニール技術を用いなくても前記表面処理後に該窒化物半導体が p 型の極性を示すことが可能である。

【0031】C 不純物濃度が  $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$  以上  $8 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  以下の範囲内で含まれた窒化物半導体を用いることによって、その表面のエッチング速度が促進され、平坦な表面モフォロジーを得ることが可能である。また、前記不純物を含む窒化物半導体が発明に係わる表面処理を施されると、従来の p 型化アニール技術を用いなくても前記表面処理後に該窒化物半導体が p 型の極性を示すことが可能である。

（本発明の窒化物半導体処理方法について）本発明による窒化物半導体（窒化物半導体基板）の表面処理方法の一例を図 1 を用いて説明する。

【0032】図 1 は本発明の方法を実施するための装置の一例である。図 1 の装置において、窒化物半導体基板 10、前記基板を支持および加熱するためのサセプタ 20、回転軸 30、石英管の炉 40、加熱ヒーター 50、塩化水素ガスライン 60、アンモニアガスライン 61、雰囲気ガスライン 62、プロセス排気ライン 63 を含んでいる。

【0033】窒化物半導（基板）の表面処理は以下のようにして実施される。まず、窒化物半導体基板 10 がサセプタ 20 の上にマウントされ、炉 40 にセットされる。次に、基板を回転させながらアンモニアガスライン 61 から  $5 \text{ L/min}$  のアンモニアガスを、雰囲気ガスライン 62 から  $5 \text{ L/min}$  の窒素ガスをそれぞれ供給し、加熱ヒーター 50 の電源を入れて基板温度を  $950^{\circ}\text{C}$  に保持する。そして、塩化水素ガスライン 60 から  $0.1 \text{ L/min}$  の塩化水素ガスを、アンモニアガスラ

イン 61 から  $4\text{ L/min}$  のアンモニアガスを、雰囲気ガスライン 62 から  $3\text{ L/min}$  の水素ガスと  $3\text{ L/min}$  の窒素ガスをそれぞれ供給し、約 30 分間表面処理を行った。その後、塩化水素ガスの供給のみを停止し、約 10 分間そのままの状態を保持した。このことにより、表面の平坦性がさらに向上される。

【0034】次に、ガス条件をアンモニアガス  $5\text{ L/min}$ 、窒素ガス  $5\text{ L/min}$  に切り替えて加熱ヒーターの電源を切る。基板温度が  $300^\circ\text{C}$  程度になったらアンモニアガスの供給を停止し、窒素ガスの流量を  $10\text{ L/min}$  に変えて基板温度が室温になるまでパージを行う。このようにして窒化物半導体 10 の表面処理が完了する。

【0035】上記処理を施すことによって、窒化物半導体基板に残留した研磨傷およびその表面モフォロジーが改善される。

【0036】上記の（本発明の窒化物半導体処理方法について）での説明では、雰囲気ガスとして水素ガスと窒素ガスを用い、不活性ガスが用いられていないが、アルゴンガスやヘリウムガス等の不活性ガスが用いられてもよい。

【0037】塩化水素ガスとアンモニアガスの流量比は上述の「塩素系ガスとアンモニアガスによる効果」で述べられた範囲内で用いることが可能である。また、上記の塩化水素ガスの代わりに塩素ガスが用いられても構わない。さらに、窒化物半導体以外の物質からなる基板の上に窒化物半導体層が形成され、その表面を本発明による処理を施すことも可能である。

<実施の形態 2> 本実施の形態 2 では、本発明に係わる表面処理を施した窒化物半導体基板を用い、その上に形成された窒化物半導体レーザ素子が図 2 を用いて説明される。その他の本発明に係わる事柄は、実施の形態 1 と同様である。

【0038】図 2 の窒化物半導体レーザ素子は、本発明により実施の形態 1 で説明したように表面処理を施した（0001）面  $n$  型  $\text{Ga N}$  基板 100 を用い、この上に  $n$  型  $\text{In}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$  クラック防止層 101、 $n$  型  $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  クラッド層 102、 $n$  型  $\text{Ga N}$  光ガイド層 103、発光層 104、 $p$  型  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$  キャリアブロック層 105、 $p$  型  $\text{Ga N}$  光ガイド層 106、 $p$  型  $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  クラッド層 107、 $p$  型  $\text{Ga N}$  コンタクト層 108、 $n$  電極 109、 $p$  電極 110 および  $\text{SiO}_2$  誘電体膜 111 を形成して構成される。

【0039】発光層 104 は、 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$  障壁層（ $8\text{ nm}$ ）/ $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$  井戸層（ $4\text{ nm}$ ）からなる 3 周期の多重量子井戸構造である。また、発光層に  $\text{As}$  もしくは  $\text{P}$  が含まれていても良い。これらの元素が含まれることによって発光層の電子とホールの有効質量が小さくなって、レーザ発振閾値電流密度が低減し得るために好ましい。

【0040】上記の窒化物半導体レーザ素子は、本発明による表面処理を施した窒化物半導体基板を用いることによって、発光層の界面（たとえば、障壁層と井戸層との界面）が急峻になり、発光効率が向上してレーザ発振閾値電流密度を低減することが可能である。このことは、生産上の歩留まり向上を意味する。

【0041】このようにして作製された窒化物半導体レーザ素子は、レーザプリンター、バーコードリーダー、光の三原色（青色、緑色、赤色）レーザによるプロジェクター等に好ましく用いられる。

<実施の形態 3> 本実施の形態 3 では、本発明に係わる表面処理を施した窒化物半導体を用い、その上に形成された窒化物半導体発光ダイオード素子が図 3 を用いて説明される。その他の本発明に係わる事柄は、実施の形態 1 と同様である。

【0042】図 3 の窒化物半導体発光ダイオード素子は、本発明により実施の形態 1 で説明したように表面処理を施した（0001）面  $n$  型  $\text{Ga N}$  基板 200 を用い、この基板の上に  $n$  型短周期超格子 201、 $n$  型  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$  キャリアブロック層 202、発光層 203、 $p$  型  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$  キャリアブロック層 204、 $p$  型短周期超格子 205、 $p$  型コンタクト層 206、 $p$  型透光性電極 207、 $p$  電極 208、 $n$  電極 209 を形成して構成される。

【0043】本実施の形態では  $n$  型短周期超格子 201 として、100 周期の  $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ （厚み  $1.5\text{ nm}$ 、 $\text{Si}$  ドープあり）/ $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ （厚み  $1.5\text{ nm}$ 、 $\text{Si}$  ドープあり）を用いた。発光層 203 としては、3 周期の  $\text{Al}_{0.06}\text{Ga}_{0.94}\text{N}$  井戸層（厚み  $2\text{ nm}$ 、 $\text{Si}$  ドープあり）/ $\text{Al}_{0.12}\text{Ga}_{0.88}\text{N}$ （厚み  $4\text{ nm}$ 、 $\text{Si}$  ドープあり）を用いた。 $p$  型短周期超格子 205 として、100 周期の  $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ （厚み  $1.5\text{ nm}$ 、 $\text{Mg}$  ドープあり）/ $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ （厚み  $1.5\text{ nm}$ 、 $\text{Mg}$  ドープあり）を用いた。また、 $p$  型コンタクト層 206 として  $p$  型  $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ （ $100\text{ nm}$ ）を用いた。

【0044】本実施の形態で説明される窒化物半導体発光ダイオード素子は、発光波長を短くするために井戸層の厚みを薄く成長している（約  $4\text{ nm}$  以下）。一般に井戸層の厚みが薄くなると、その厚さの製造上の揺らぎによって素子の発光特性が悪化されやすい。本実施の形態 3 で説明された紫外発光ダイオード素子は、本発明による基板表面処理を施しているため、井戸層と障壁層との間の界面揺らぎによる発光特性の悪化を防ぐことが可能である。また、 $n$  型短周期超格子 201 や  $p$  型短周期超格子 205 の界面揺らぎも小さく、設計通りの屈折率を有する短周期超格子が作製され得る。このことは、生産上の歩留まり向上を意味する。

<実施の形態 4> 本実施の形態 4 では、本発明に係わる表面処理を施した窒化物半導体を用い、その上に形成さ

れた窒化物半導体ヘテロ接合型電界効果トランジスタ素子が図4を用いて説明される。その他の本発明に係わる事柄は、実施の形態1と同様である。

【0045】図4の窒化物半導体ヘテロ接合型電界効果トランジスタ素子は、本発明により実施の形態1で説明したように表面処理を施した(1-101)面i型GaN基板300を用い、この基板上にn型AlGaN層301、ソース302、ゲート303、およびドレイン304を形成して構成される。

【0046】本実施の形態ではn型AlGaN層301として、 $Al_{0.25}Ga_{0.75}N$  (厚み $1\mu m$ 、Siドーパあり)を用いた。

【0047】トランジスタの接合界面が急峻でなければ、2次元電子ガスが散乱されやすく高い移動度を得ることが難しくなる。本実施の形態で説明された窒化物半導体トランジスタ素子は、本発明による基板表面処理を施しているため、ヘテロ接合界面が急峻であり、高い移動度を得ることが可能である。このことは、生産上の歩留まり向上を意味する。

<実施の形態5>本実施の形態5では、本発明の処理方法を用いて窒化物半導体を任意の形状に加工することが図5の模式図を用いて説明される。その他の本発明に係わる事柄は、実施の形態1と同様である。

【0048】図5(a)は、n型層400、発光層401および窒化物半導体層402がそれぞれ積層された素子に、従来のリソグラフィ技術を用いて形成されたストライプ状の誘電体膜403が窒化物半導体層402上に蒸着されている。誘電体膜403は、例えば、 $SiO_2$ 、 $SiN_x$ 、 $Al_2O_3$ などである。窒化物半導体層402は、例えば、MgがドーピングされたGaN層、MgがドーピングされたInGaN層、MgがドーピングされたAlGaN層などである。

【0049】次に、図1の装置に前記素子がセットされる。そして、基板温度が $600^{\circ}C$ に保持され、塩化水素ガス $1L/min$ 、アンモニアガス $100cc/min$ 、窒素ガス $10L/min$ 、水素ガス $50cc/min$ がそれぞれ、前記素子表面に導入され窒化物半導体層がリッジストライプ形状になるようにエッチングが行われた(図5(b))。続いて、炉から前記素子を取り出され、誘電体膜403が除去された(図5(c))。

【0050】このようにして作製されたリッジストライプ形状を有する窒化物半導体層402は、その表面モフォロジーが好ましく、エッチングによる表面損傷が小さかった。また、上記エッチングによって取り出された素子は、従来のp型化アニール技術を用いなくても、上記

処理後に既にp型化を示していた。さらに、本発明によるエッチング手法は、窒化物半導体層402に与える表面損傷が小さいため、その上にp型電極を形成した際のコンタクト抵抗が小さくなる。このことにより素子の駆動電圧が低くなって好ましい。

【0051】

【発明の効果】本発明によれば、窒化物半導体の表面モフォロジーとその研磨傷が改善される。このような窒化物半導体を用いることによって、その上に結晶成長した窒化物半導体素子のヘテロ界面が急峻になり、その素子特性が向上すると共に、素子の歩留まり率も向上させることが可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】窒化物半導体表面処理装置の一例を表した図である。

【図2】窒化物半導体レーザ素子の一例を表した図である。

【図3】窒化物半導体発光ダイオード素子の一例である。

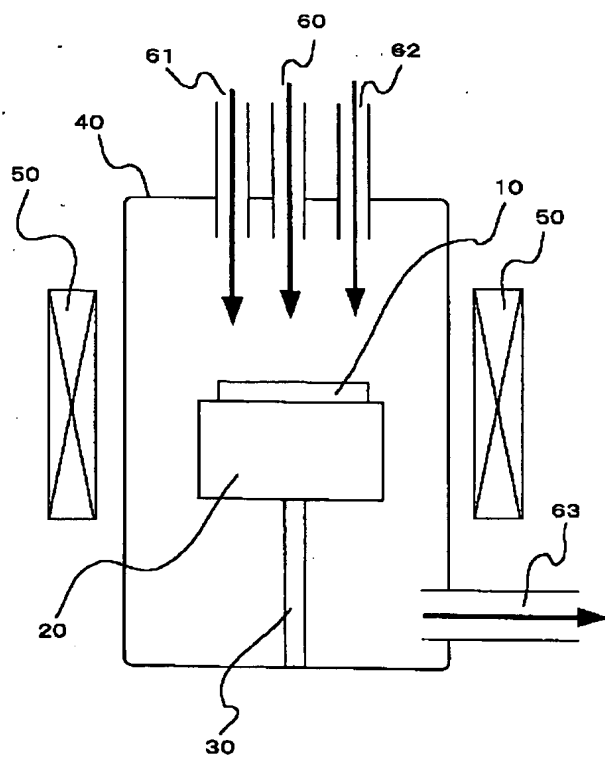
【図4】窒化物半導体ヘテロ接合型電界効果トランジスタ素子の一例である。

【図5】本発明を用いて窒化物半導体を任意の形状に加工する一例を示した図である。

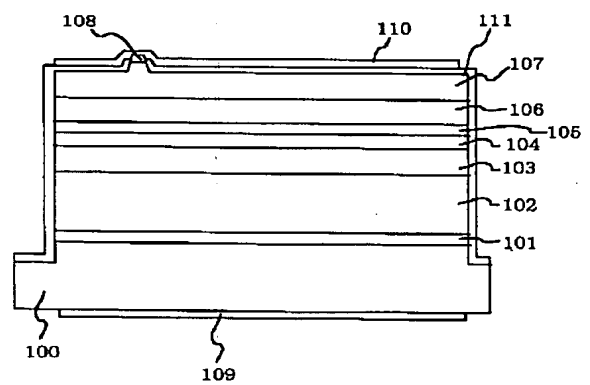
【符号の説明】

- 10…窒化物半導体基板
- 20…サセプタ
- 60…塩化水素ガスライン
- 61…アンモニアガスライン
- 62…雰囲気ガスライン
- 63…プロセス排気ライン
- 100、200…n型GaN基板
- 109、209…n電極
- 110、208…p電極
- 111… $SiO_2$ 誘電体膜
- 206…p型コンタクト層
- 207…p型透光性電極
- 300…i型GaN基板
- 301…n型AlGaN層
- 302…ソース
- 303…ゲート
- 304…ドレイン
- 400…n型層
- 402…窒化物半導体層
- 403…誘電体膜

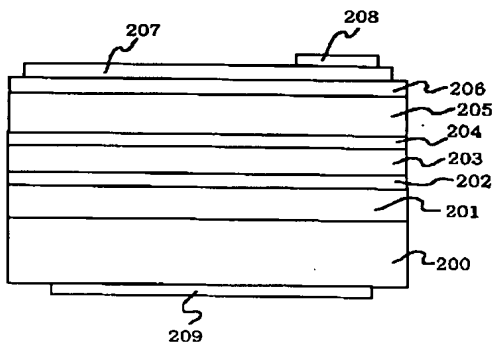
【図1】



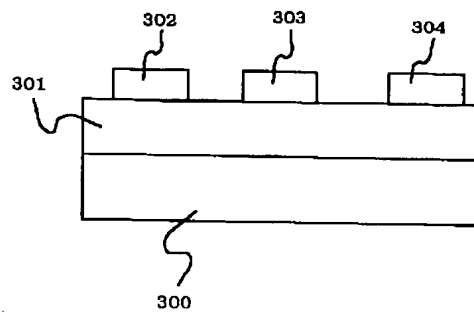
【図2】



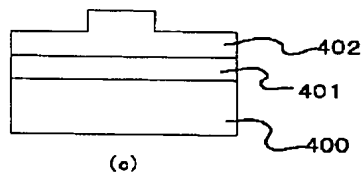
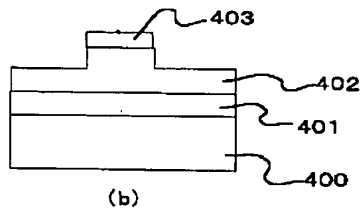
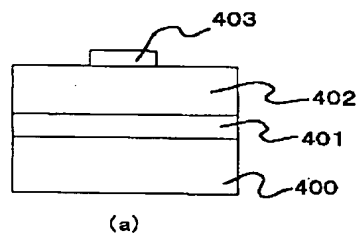
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

H01S 5/323

識別記号

610

F I

テーマコード (参考)

Fターム (参考) 5F004 AA06 AA07 AA11 BB26 DA00  
 DA04 DA24 DA25 DA29 DB19  
 5F041 AA40 CA03 CA05 CA23 CA34  
 CA40 CA77  
 5F073 AA45 AA74 CA07 DA35  
 5F102 GB01 GC01 GD01 GD05 GL04  
 GM04 GM10 GN04 GQ01 GR01  
 HC01 HC21